

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

• **BLACK BORDERS**

- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS

• **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**

- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : G02B 6/26, 6/42, 6/43, H01S 3/025	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/25638 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Juli 1997 (17.07.97)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE97/00053 (22) Internationales Anmeldedatum: 8. Januar 1997 (08.01.97)  (30) Prioritätsdaten: 196 01 955.9 9. Januar 1996 (09.01.96) DE 196 50 853.3 27. November 1996 (27.11.96) DE  (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STANGE, Herwig [DE/DE]; Kilstetter Strasse 40, D-14167 Berlin (DE). KROPP, Jörg- Reinhardt [DE/DE]; Zittauer Strasse 60, D-12355 Berlin (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  Veröffentlicht Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: AN ARRANGEMENT FOR OPTICAL COUPLING OF A LIGHT EMITTING ELEMENT WITH A LIGHT RECEIVING ELEMENT

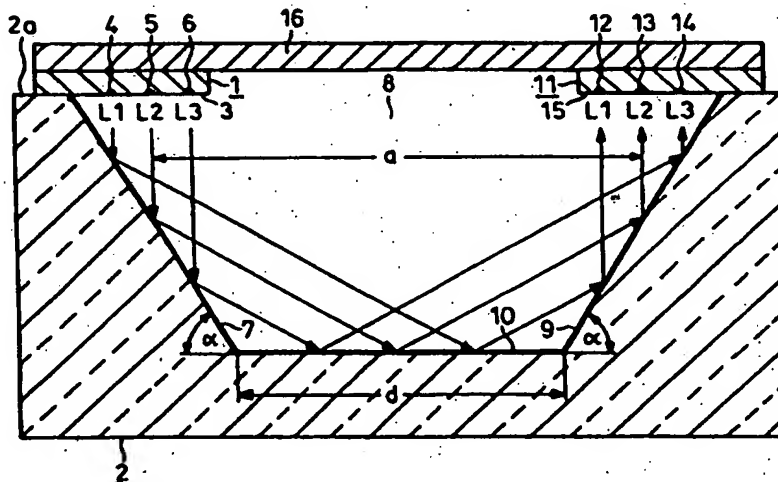
(54) Bezeichnung: ANORDNUNG ZUM OPTISCHEN ANKOPPELN EINES LICHTAUSSENDENDEN ELEMENTES AN EIN LICHTEMPFANGENDES ELEMENT

(57) Abstract

An arrangement for optical coupling of a light-emitting element (1) with a light-receiving element (11) arranged next to it provides a coupling body (2) which contains a reflecting recess (8) which tapers inward from an outer surface (3). The light-emitting element (1) with its light emitting surface is located before one of the side walls (7) of the recess (8). The light-receiving element (11) is located before the other side wall (9) of the recess (8). The side walls (7, 9) are arranged with a slope ( $\alpha$ ) such that, after reflection from one side wall, the floor and the other side wall, the light reaches the light-receiving element (11).

(57) Zusammenfassung

Bei einer Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden Elementes (1) an ein daneben angeordnetes lichtempfangendes Element (11) ist ein Koppelkörper (2) vorgesehen, der eine sich von einer Außenfläche (3) nach innen verjüngende, reflektierende Vertiefung (8) aufweist. Vor einer Seitenwand (7) der Vertiefung (8) ist das lichtaussendende Element (1) mit seiner lichtemittierenden Oberfläche angeordnet. Vor der anderen Seitenwand (9) der Vertiefung (8) ist das lichtempfangende Element (11) angeordnet. Die Seitenwände (7, 9) weisen eine derartige Neigung ( $\alpha$ ), daß das Licht nach Reflexion an der einen Seitenwand, dem Boden und der anderen Seitenwand zum lichtempfangenden Element (11) gelangt.



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LX	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

## Beschreibung

Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden Elementes an ein lichtempfangendes Element

5

Aus der europäischen Patentanmeldung EP 0 652 454 A1 ist eine Anordnung zum Ankoppeln eines von einem Laser gebildeten lichtaussendenden Elementes an ein von einer Fotodiode gebildetes lichtempfangendes Element bekannt, bei der ein Koppelkörper verwendet wird, der aus einem ersten optischen Teil und aus einem zweiten optischen Teil besteht. In dem ersten optischen Teil ist eine Vertiefung vorgesehen, die einander gegenüberliegende geneigte Seitenwände und einen dazwischen sich erstreckenden, parallel zur Oberfläche des Teils verlaufenden Boden aufweist. Die Seitenwände der Vertiefung sind verspiegelt. Oberhalb des ersten optischen Teils der bekannten Anordnung befindet sich das zweite optische Teil, auf dessen freier Oberfläche der Laser und daneben die Fotodiode angeordnet sind. Das zweite optische Teil ist aus lichtdurchlässigem Material hergestellt und damit in der Lage, von dem Laser ausgesandtes Licht hindurchzuleiten.

Bei der bekannten Anordnung wird durch seitliche Führungen sichergestellt, daß das die Vertiefung tragende erste optische Teil in einer festen räumlichen Zuordnung zu dem den Laser und die Fotodiode tragenden zweiten optischen Teil angeordnet ist. Dies ist deshalb von Bedeutung, weil der Laser mit seiner lichtemittierenden Oberfläche sich der einen Seitenwand der Vertiefung gegenüberliegend befindet, so daß das von ihm ausgehende Licht von dieser Seitenwand reflektiert wird und zur anderen Seitenwand gelangt. Dort erfolgt eine zweite Reflexion zur Fotodiode, die der zweiten Seitenwand gegenüberliegt. Eine genaue räumliche Zuordnung der beiden optischen Teile ist erforderlich, damit das von dem Laser

ausgehende Licht infolge der beiden Reflexionen optimal zur Fotodiode übertragen wird.

5 Ferner ist aus der europäischen Patentanmeldung 0 603 549 A1 eine Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussenden-  
den Elementes an ein lichtempfangendes Element bekannt, bei  
dem der Koppelkörper ebenfalls aus zwei optischen Teilen be-  
steht. Das erste optische Teil trägt eine erste relativ lang-  
gestreckte Vertiefung, die geneigte Seitenwände aufweist. Ne-  
10 ben dieser ersten Vertiefung befinden sich jeweils zwei klei-  
ner bemessene weitere Vertiefungen, die mit ihrer jeweils der  
ersten Vertiefung zugewandten geneigten Seitenwand eine Re-  
flexionsfläche bilden. Auf dem zweiten optischen Teil dieser  
bekannten Anordnung befinden sich ein lichtaussendendes Ele-  
15 ment sowie ein lichtempfangendes Element nebeneinander auf  
einer Außenfläche, die zur Verbindungsfläche der beiden opti-  
schen Teile abgewandt liegt. Zwischen beiden optischen Teilen  
ist im Zuge der Lichtstrahlen jeweils eine Sammellinse ange-  
ordnet.

20 Bei dieser bekannten Anordnung ist das lichtaussendende Ele-  
ment mit seiner lichtemittierenden Oberfläche der Außenfläche  
des Koppelkörpers zugewandt angeordnet und gibt damit Licht  
senkrecht in den Koppelkörper hinein ab. Dieses Licht fällt  
25 auf die reflektierende Seitenwand einer ersten der beiden  
kleineren Vertiefungen und wird von dort in die erste, lang-  
gestreckte Vertiefung reflektiert, wo es mittels eines in  
dieser Vertiefung erzeugten Streifenwellenleiters zur anderen  
Seitenwand der langgestreckten Vertiefung geleitet wird. Von  
30 dort wird das Licht auf die reflektierende Seitenwand der an-  
deren kleineren Vertiefung gelenkt; von dieser Seitenwand ge-  
langt das Licht dann durch den Koppelkörper in das lichtemp-  
fangende Element.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden Elementes an ein neben diesem Element angeordnetes lichtempfangendes Element vorzuschlagen, die sich vergleichsweise einfach herstellen  
5 läßt und die auch bei unterschiedlichen Abständen der beiden Elemente eine optimale optische Ankopplung gewährleistet.

Die Lösung dieser Aufgabe besteht erfindungsgemäß in einer Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden  
10 Elementes an ein lichtempfangendes Element mit einem Koppelkörper, bei der

- vor einer Außenfläche des Koppelkörpers das lichtaussendende und das lichtempfangende Element nebeneinander angeordnet sind,
  - 15 - der Koppelkörper eine sich von der einen Außenfläche nach innen verjüngende, spiegelnde Vertiefung mit hinsichtlich eines Bodens einander gegenüberliegenden Seitenwänden aufweist,
  - das lichtaussendende Element mit seiner lichtemittierenden  
20 Oberfläche der einen Außenfläche des Koppelkörpers zugewandt angeordnet ist und vor der einen Seitenwand liegt,
  - vor der anderen Seitenwand der Vertiefung des Koppelkörpers das lichtempfangende Element mit seiner Lichtempfangsseite angeordnet ist, und
  - 25 - die Seitenwände eine derartige Neigung aufweisen, daß das Licht des lichtaussendenden Elements nach Reflexion an der einen Seitenwand, dem Boden und der anderen Seitenwand zum lichtempfangenden Element gelangt.
- 30 Es ist zwar aus der europäischen Patentanmeldung 0 622 874 A1 eine Anordnung zur Ankopplung eines optoelektronischen Empfangselementes an ein optoelektronisches Sendeelement bekannt, bei der ein Koppelkörper mit einer Vertiefung versehen ist, die einen Boden und beiderseits des Bodens verlaufende

schräge Seitenwände aufweist, die wie der Boden verspiegelt sind, jedoch ist bei dieser bekannten Anordnung das lichtaussendende Element von einem kantenemittierenden Laser gebildet, der so angeordnet ist, daß seine eine lichtemittierende Kante an einer äußeren Kante der Vertiefung liegt. Von dem Laser wird daher Licht sowohl gegen den Boden, als auch gegen die gegenüberliegende Seitenwand gestrahlt, das dann zum lichtempfangenden Element reflektiert wird. Die bekannte Anordnung ist daher nur zur Verwendung von kantenemittierenden Lasern geeignet.

Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung besteht darin, daß sie im Vergleich zu den eingangs beschriebenen Anordnungen verhältnismäßig einfach herstellbar ist, weil der Koppelkörper einteilig ausgebildet ist. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung wird darin gesehen, daß durch die Ausgestaltung des Koppelkörpers und der Anordnung der Elemente vor den Seitenwänden der Vertiefung und durch eine Neigung der Seitenwände derart, daß das Licht dreimal reflektiert wird, erreicht ist, daß bei gleichem Abstand des lichtaussendenden Elementes von dem lichtempfangenden Element auch bei unterschiedlicher Positionierung der Anordnung aus lichtaussendendem und lichtempfangendem Element zu dem Koppelkörper eine optimale Ankopplung ermöglicht ist, sofern nur die Anordnung mit den beiden Elementen jeweils den Seitenwänden gegenüberliegend angeordnet ist und damit das Licht über die eine Seitenwand, den Boden und die andere Seitenwand zu dem lichtempfangenden Element gelangen kann.

30

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung kann der Koppelkörper hinsichtlich seiner Vertiefung unterschiedlich ausgebildet sein; als besonders vorteilhaft wird es angesehen, wenn bei einem vorgegebenem Abstand  $a$  des lichtaussendenden von dem lichtempfangenden Element und einer Neigung  $\alpha$  der Seitenwände

35



zwischen 45 und 90° der Boden der Vertiefung eine Quererstreckung  $d$  aufweist, die sich gemäß der Formel  $d = a/2 \cdot \sin^2 \alpha$  ergibt. Bei einer derartigen Bemessung der Vertiefung ist nämlich eine optimale optische Ankopplung des lichtempfangenden Elementes an das lichtaussendende Element erreichbar.

Eine andere Lösung der oben aufgeführten Aufgabe besteht erfindungsgemäß in einer Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden Elementes an ein lichtempfangendes Element mit einem Koppelkörper, bei der

- vor einer Außenfläche des Koppelkörpers das lichtaussendende und das lichtempfangende Element nebeneinander angeordnet sind,
- der Koppelkörper eine sich von der einen Außenfläche nach innen verjüngende, spiegelnde Vertiefung mit einander gegenüberliegenden Seitenwänden aufweist,
- das lichtaussendende Element mit seiner lichtemittierenden Oberfläche der einen Außenfläche des Koppelkörpers zugewandt angeordnet ist und vor der einen Seitenwand liegt,
- vor der anderen Seitenwand der Vertiefung des Koppelkörpers das lichtempfangende Element mit seiner Lichtempfangsseite angeordnet ist, und
- die Seitenwände im Grunde der Vertiefung aneinander stoßen und eine derartige hohle Kontur aufweisen, daß das Licht des lichtaussendenden Elements nach Reflexion an der einen Seitenwand und der anderen Seitenwand zum lichtempfangenden Element gelangt.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Anordnung besteht darin, daß die Lichtankopplung mit nur zwei Reflexionen und damit mit vergleichsweise geringen Lichtverlusten erfolgt; hinsichtlich einer unterschiedlichen Positionierung der Anordnung aus lichtaussendenden und lichtempfangenden Elementen ergibt sich

auch hier der Vorteil eines positionstoleranten Koppelkörpers, weil auch bei dieser Ausführungsform der Erfindung die optische Kopplung solange optimal bleibt, wie sich die beiden Elemente den hohlen Seitenwänden gegenüber befinden.

5

Besonders gut ist die optische Kopplung dann, wenn bei einem Abstand  $b$  des lichtaussendenden von dem lichtempfangenden Element die Kontur jeder Seitenwand gemäß der Beziehung

$z = e^{\frac{b}{2}} - 1$  gestaltet ist, in der mit  $z$  eine vom Grunde der Vertiefung zu der einen Außenflächen zählende Höhenvariable bezeichnet ist.

10

Bei einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist die lichtemittierende Oberfläche des lichtaussendenden Elementes von mehreren in einer Reihe oder in einer Fläche angeordneten Sendebereichen und die Lichtempfangsseite des lichtempfangenden Elementes von in einer Reihe oder in einer Fläche angeordneten Empfangsbereichen gebildet. Durch den Koppelkörper wird nämlich bei einer derartigen Ausgestaltung des lichtaussendenden und des lichtempfangenden Elementes dafür gesorgt, daß auf der Sende- und der Empfangsseite dieselbe räumliche Zuordnung der Bereiche möglich ist; so gelangt beispielsweise bei in einer Reihe liegenden Sendebereichen das Licht des ersten Sendebereichs zum ersten Empfangsbereich, ohne daß eine Vertauschung der Reihenfolge eintritt.

15

20

25

Der Koppelkörper kann bei der erfindungsgemäßen Anordnung aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Als vorteilhaft wird es angesehen, wenn der Koppelkörper aus kristallinem Material oder aus Glas besteht. Damit ist nämlich die Möglichkeit gegeben, durch anisotropes Ätzen eine wohldefinierte Neigung der Seitenwände herbeizuführen. Geeignet ist dieses Material - Silizium oder Galliumphosphid - insbesondere für eine Ver-

30

tiefung mit ebenen Seitenwänden und einem Boden. Bei einer Verwendung von Glas lassen sich beispielsweise durch Gießen oder Pressen sowohl Koppelkörper mit ebenen Seitenwänden als auch solche mit hohlen Seitenwänden herstellen.

5

Unter Umständen kann es auch vorteilhaft sein, wenn der Koppelkörper aus Kunststoff oder Metall gebildet ist, weil sich bei Verwendung dieser Materialien leicht Koppelkörper mit der Vertiefung herstellen lassen.

10

Die erfindungsgemäße Anordnung läßt vorteilhaft bei einer optoelektronischen Sendebaugruppe mit mindestens einem Sendeelement, mindestens einem Monitorelement und einer Kopplungsvorrichtung anwenden, welche mindestens ein optisches Koppelement und mindestens ein reflektierendes Element aufweist, wobei eine strahlungsempfindliche Oberfläche des Monitorelementes und eine aktive Oberfläche des Sendeelementes der Kopplungsvorrichtung zugewandt sind, wenn erfindungsgemäß die Anordnung der Kopplungsvorrichtung, des von dem lichtaus-

15 sendenden Element gebildeten Sendeelements und des von dem lichtempfangenden Element gebildeten Monitorelements zueinander so gestaltet ist, daß gegenüber einem auf einer einzigen Bauteilseite des Sendeelements befindlichen Abschnitt der aktiven Oberfläche sowohl der Koppelkörper als auch das Kop-

20 pelement angeordnet sind.

25

Gegenüber einer aktiven Oberfläche, die sich auf einer einzigen Bauteilseite eines Sendeelements befindet, sind mindestens ein Koppelement und ein reflektierendes Element angeordnet. Das Koppelement hat die Funktion, einen Teil der von dem Sendeelement emittierten Strahlung als Nutzstrahlung auszukoppeln. Dies kann beispielsweise durch die Fokussierung auf die Stirnfläche eines Lichtwellenleiters oder durch Kollimation der Strahlung realisiert sein. Gleichzeitig wird

30

- durch die erfindungsgemäße Anordnung ein Freiraum (Freistrahlbereich) geschaffen, der zur Integration weiterer optischer Elemente verwendet werden kann. Beispielsweise gestattet das in einem solchen Freistrahlbereich platzierte Koppelkörper die Umlenkung zumindest eines Teils der emittierten Strahlung auf ein Monitorelement. Durch diese Umlenkung kann das Monitorelement außerhalb des Abstrahlungsgebiets des Sendeelements angeordnet sein. Unerwünschte Abschattungen der Strahlung durch ein unmittelbar in das direkte Abstrahlungsgebiet eingebrachtes Monitorelement werden vermieden. Erfindungsgemäß wird die in eine Richtung ausgesandte Strahlung einer einzigen Oberfläche sowohl als Nutzsignal, als auch für die Detektion der Strahlungsintensität verwendet. Die Ausnutzung einer zweiten Abstrahlungsrichtung des Sendeelements ist nicht mehr erforderlich. Dadurch können auch einseitig emittierende Bauelemente einer aktiven Regelung unterworfen werden. Durch die Anordnung des Koppellements und des Koppelkörpers gegenüber einer Bauteilseite des Sendeelements wird die Baufreiheit erhöht und es kann eine kompaktere und dichtere Bauweise erreicht werden. Der Koppelkörper wie auch das optische Koppellement sind Teile einer Kopplungsvorrichtung, die im Regelfall dem Sende- und Monitorelement gegenüber angeordnet ist.
- 25 Vorzugsweise wird eine Anordnung gewählt, die den zum Monitorelement umgelenkten Strahlungsanteil so begrenzt, daß eine sichere Regelung der Strahlungsintensität möglich ist, eine zu starke Schwächung des zum optischen Koppellement dringenden Anteils jedoch vermieden ist. Für Sendebaugruppen mit
- 30 Einzellasern wird durch den Koppelkörper und das Koppellement die Strahlung geteilt (Strahlteilerprinzip).

Im Gegensatz dazu kann bei Sendebaugruppen, bei denen die aktive Oberfläche mehrere Laser aufweist, die Strahlung eines

Lasers zur Regelung des Treiberstroms aller Laser ausgenutzt werden. Die Oberfläche kann dabei in mehrere aktive Bereiche unterteilt sein oder durch Zusammenfassen von mehreren diskreten Einzellasern gebildet werden. Wenigstens gegenüber  
5 einem Abschnitt der aktiven Oberfläche auf einer einzigen Bauteilseite - der Abschnitt kann dabei einen oder mehrere emittierende Bereiche oder Einzellaser umfassen - ist ein Koppelkörper und ein Koppellement angeordnet.

10 Die Kopplungsvorrichtung kann als massiver Grundkörper mit Koppellement und Koppelkörper ausgebildet sein. Bekannte planare Strukturierungstechniken können in vorteilhafter Weise zur Integration des Koppellements und des Koppelkörpers herangezogen werden. Die Justage der Kopplungsvorrich-  
15 tung kann bei aktivem oder inaktivem Sendeelement erfolgen. Beide Justagemöglichkeiten dienen der gewünschten Lageausrichtung der Kopplungsvorrichtung und dem Festlegen des Regelsignals.

20 Im Gegensatz zu üblichen Sendebaugruppen können der Koppelkörper und das Koppellement in der Kopplungsvorrichtung zusammengefaßt werden, wobei unter Ausnutzung hochpräziser Strukturierungstechniken hohe Genauigkeiten erreicht werden. In diesem Fall ist die spiegelnde Vertiefung in der  
25 Kopplungsvorrichtung vorhanden. Dies gilt entsprechend für die Montage von Sendeelement und Monitorelement auf einem gemeinsamen Träger. Durch den gewählten Aufbau ist auch eine monolithische Integration von Sende- und Monitorelement auf einem Halbleiter-Chip möglich.

30 In einer vorteilhaften Ausführungsform besteht die Koppelvorrichtung aus einem im charakteristischen Emissionswellenlängenbereich des Sendeelements transparenten Material, wobei wenigstens ein Teil der von einem Abschnitt der aktiven  
35 Oberfläche des Sendeelements emittierten Strahlung durch Re-

flexion in der Weiterbildung auf das Monitorelement gelenkt wird, und ein weiterer Teil der Strahlung durch die Koppelvorrichtung dringt. Das Koppellement kann dabei als diffraktives und/oder refraktives Element ausgelegt sein. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung einer Linse bzw. eines Linsensystems oder einer Zonenplatte, die auf der dem Sendeelement abgewandten Seite der Kopplungseinheit aufgebracht ist. Es ist auch die Verwendung einer integrierten Gradientenindexlinse denkbar. Eine Anordnung auf der den elektronischen Bauelementen unmittelbar zugewandten Seite ist ebenfalls möglich.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform sieht vor, daß wenigstens ein Teil der von dem Abschnitt emittierten Strahlung durch Reflexion am Koppelkörper auf das Monitorelement gelenkt wird und ein anderer Teil der Strahlung am Koppellement reflektiert wird. Das Koppellement ist vorteilhaft an der dem Sendeelement zugewandten Seite der Kopplungsvorrichtung angeordnet. Beispielsweise mittels eines Hohlspiegels wird die Strahlung von dem Koppellement in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt.

Zur Beabstandung und optischen Ausrichtung können Distanzstücke zwischen einem sende- und monitorelementunterstützten Träger und der Kopplungsvorrichtung eingesetzt werden. Zur Vermeidung störender, auf das Emissionssignal rückkoppelnder Reflexionen an der Kopplungsvorrichtung und dem Koppellement werden diese mit reflektionsunterdrückenden Beschichtungen versehen. Besondere Bedeutung kommt derartigen Beschichtungen bei Materialien mit hohem Brechungsindex, beispielsweise Silizium, zu. Rückkopplungen können aber auch durch ein geeignetes Verkippen der Kopplungsvorrichtung gegenüber dem Sendeelement vermieden werden. Eventuell reflektierte Strahlung gelangt durch die Verkipfung nicht mehr auf die aktive Oberfläche des Sendeelements.

Unter Anwendung bekannter Verbindungstechniken wie Löten und Kleben wird aus der Kopplungsvorrichtung und den elektronischen Bauelementen eine kompakte und dauerhafte Sendebaugruppe gebildet. Materialien, die ein gleiches thermisches Verhalten aufweisen, sind zu bevorzugen.

Zur Erhöhung des Integrationsgrades werden in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform Sende- und Monitorelement unmittelbar von der Kopplungsvorrichtung getragen. Die Montage erfolgt bevorzugt mit der Flip-Chip-Technik unter Verwendung von Bumps zur Kontaktierung, wobei der Effekt der Selbstzentrierung zusätzlich ausgenutzt werden kann. Dazu sind auf den zueinanderweisenden Oberflächen von Sende- und Monitorelement einerseits und Kopplungsvorrichtung andererseits Lötflächen vorgesehen, die Löt Kügelchen (Bumps) tragen, welche durch Wärmeeinwirkung zum Schmelzen gebracht werden. Dadurch werden Sende- und Monitorelement mit der Kopplungsvorrichtung verbunden und ausgerichtet. Diese Ausführungsform ist durch eine hervorragende mechanische und optische Stabilität gekennzeichnet und kann kostengünstig hergestellt werden.

Entsprechend der bevorzugten Ausführungsformen sind elektrische Kontaktmöglichkeiten entweder trägerseitig oder kopplungsvorrichtungsseitig vorhanden. Vorzugsweise werden bondbare Goldbahnen auf einen Silizium- oder Glasträger verwendet.

Bei einer von stahlungsaktiven Sendebereichen gebildeten aktiven Oberfläche des Sendeelements, bei dem die Bereiche in einer Reihe oder in einer Fläche angeordnet sind, läßt sich der Treiberstrom mehrerer Sendebereiche durch ein Monitorelement regeln, welches die emittierte Strahlung eines Sendebereichs empfängt. Für die individuelle Regelung jedes Sendebereichs hingegen wird jeweils ein zugehöriges Monitorelement

benötigt. Ein oder mehrere Koppelkörper reflektieren einen Teil der von dem jeweiligen Sendebereich emittierten Strahlung auf das entsprechende Monitorelement. Die Ausgestaltung der Koppelkörper und der Koppellemente kann entsprechend den verwendeten Materialien erfolgen.

Zur Erläuterung der Erfindung ist in  
Figur 1 ein Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Anordnung in schematischer Darstellung, in  
10 Figur 2 ein Schnitt durch ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Anordnung in ebenfalls schematischer Darstellung, in  
Figur 3 eine perspektivische Darstellung eines im Ausführungsbeispiel nach Figur 1 gezeigten Koppelkörpers, in  
15 Figur 4 eine perspektivische Darstellung eines im Ausführungsbeispiel nach Figur 2 wiedergegebenen Koppelkörpers, in  
Figur 5 eine erfindungsgemäße Anwendung in einer Sendebaugruppe in einer Zehn-Kanal-Ausführung mit Linsenarray in 100-Siliziummaterial, in  
20 Figur 6 eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Sendebaugruppe mit unmittelbar auf der Kopplungsvorrichtung montiertem Sende- und Monitorelement, in  
Figur 7 eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Sendebaugruppe und in  
25 Figur 8 die Sendebaugruppe aus Figur 7 entlang der Linie A-B wiedergegeben.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach Figur 1 ist ein lichtaussendendes Element 1 unmittelbar an einer Außenfläche 2a eines  
30 Koppelkörpers 2 angebracht. Das lichtaussendende Element 1 weist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel an seiner lichtemittierenden Oberfläche 3 drei in einer Reihe angeordnete Sendebereiche 4, 5 und 6 auf, von denen Lichtstrahlen L1, L2 und L3 auf eine Seitenwand 7 einer reflektierenden  
35 Vertiefung 8 in dem Koppelkörper 2 abgegeben wird, weil das



lichtaussendende Element 1 mit seiner lichtemittierenden Oberfläche 3 der Seitenwand 7 gegenüber angeordnet ist.

Ist der Koppelkörper 2 aus Silizium hergestellt, dann läßt sich die Vertiefung 8 leicht durch anisotropes Ätzen herstellen, wobei dann die Seitenwand 7 wie auch eine dieser gegenüberliegende andere Seitenwand 9 eine Neigung  $\alpha$  gegenüber einem Boden 10 zwischen den beiden Seitenwänden 7 und 9 aufweist, die  $54,7^\circ$  beträgt. Demzufolge werden die auf die Seitenwand 7 einfallenden Lichtstrahlen L1 bis L3 so reflektiert, daß sie auf den Boden 10 der Vertiefung 8 fallen und von dort auf die andere Seitenwand 9 reflektiert werden. Von dieser Seitenwand 9 werden die Lichtstrahlen L1, L2 und L3 in derselben Reihenfolge wie sie auf die eine Seitenwand 7 geführt sind, reflektiert und gelangen zu einem lichtempfangenden Element 11, das eine Reihe von Empfangsbereichen 12, 13 und 14 an seiner Lichtempfangsseite 15 aufweist. Das lichtaussendende Element 1 und das lichtempfangende Element 11 sind mittels einer Grundplatte 16 einander fest zugeordnet.

Die Figur 1 läßt deutlich erkennen, daß die Lichtstrahlen L1 bis L3 in derselben räumlichen Zuordnung zum lichtempfangenden Element 11 übertragen werden, wie sie von dem lichtaussendenden Element 1 abgegeben worden sind. Eine Vertauschung der Reihenfolge findet also nicht statt, was für die Zuordnung der Sende- und Empfangsbereiche der Elemente 1 und 11 vorteilhaft ist. Außerdem zeigt die Figur 1 deutlich, daß durch eine unterschiedliche Positionierung des Koppelkörpers 2 zu den Elementen 1 und 11 bzw. den Sendebereichen 4 bis 6 und den zugeordneten Empfangsbereichen 12 bis 14 auf der Grundplatte 16 die optische Kopplung nicht beeinträchtigt wird, wenn die Längserstreckung d des Bodens 10 in Abhängigkeit von dem Abstand a gemäß der nachstehenden Formel

$$d = a/2 \cdot \sin^2 \alpha$$

gewählt ist. Dies ist auf die dreifache Reflexion an den Seitenwänden 7 und 9 und an dem Boden 10 zurückzuführen.

Ähnlich vorteilhaft ist die Ausführung nach Figur 2, in der wiederum schematisch ein lichtaussendendes Element 21 mit Sendebereichen 22, 23 und 24 an einem Koppelkörper 25 gehalten ist, der hohle Seitenwände 26 und 27 aufweist, die am Grunde einer Vertiefung 28 zusammenstoßen. Ist nämlich die Kontur jeder Seitenwand 26 bzw. 27 gemäß der Beziehung

$$z = e^{\frac{|b|}{2}} - 1$$

gewählt - mit  $z$  als vom Grund der Vertiefung 28 zählender Höhenvariabler und  $b$  als Abstand zwischen dem lichtaussendenden Element 21 und einem lichtempfangenden Element 29 bzw. den den zugeordneten Sendebereichen 22 bis 24 und Empfangsbereichen 30 bis 32 -, dann läßt sich erreichen, daß von den Sendebereichen 22 bis 24 ausgesandte Lichtstrahlen L21, L22 und L23 zu dem ebenfalls an dem Koppelkörper 25 gehaltenen Lichtempfangselement 29 mit den Empfangsbereichen 30, 31 und 32 in derselben räumlichen Zuordnung übertragen werden, wie sie ausgesandt worden sind. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel gehen beispielsweise toleranzbedingte Positionierungsänderungen zwischen dem Koppelkörper 25 und der Anordnung mit den Elementen 21 und 29 auf einer Grundplatte 32 nicht in die Qualität der optischen Ankopplung ein.

In Figur 3 ist nur der Koppelkörper 2 des Ausführungsbeispiels nach Figur 1 perspektivisch dargestellt. Es sind hier deutlich die geneigten Seitenwände 7 und 9 und der Boden 10 dargestellt. Die stärker angezogenen Linien sollen spiegelnde Schichten verdeutlichen.

Figur 4 zeigt den Koppelkörper 25 nach dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 in ebenfalls perspektivischer Darstel-

lung. Auch hier sind mit dickeren Linien spiegelnde Schichten auf den Seitenwänden 26 und 27 gekennzeichnet.

Eine Anwendung der Erfindung bei einer Sendebaugruppe, ausgeführt als 10-Kanal-Anordnung mit Linsenarray in 100-Silizium, ist in Figur 5 gezeigt. Hierbei besteht der Grundkörper 43 der Kopplungsvorrichtung 40 aus kristallinem Silizium mit der kristallographischen 100-Ausrichtung zur Grundkörperoberfläche. Die Linsen 53b bis 53n, die ebenfalls aus Silizium bestehen und durch planare Strukturierungstechniken unter Ausnutzung anisotroper und isotroper Ätztechniken bzw. Prägen hergestellt wurden, sind ihren zugeordneten Halbleiterlasern 45b bis 45n gegenüber ausgerichtet und fokussieren deren Strahlung 46b bis 46n. Die Halbleiterlaser 45a bis 45n werden durch das Laserarray 41 als lichtaussendendes Element repräsentiert.

Die emittierte Strahlung 46a eines Halbleiterlasers 45a wird zur Regelung des Treiberstroms aller Halbleiterlaser 45a bis 45n ausgenutzt. Die Laserstrahlung 46a wird durch eine Vertiefung 48 an der dem Laserarray 41 zugewandten Seite des Grundkörpers 43 durch dreifache Reflexion auf die Monitor-diode 42 geworfen. Die Vertiefung 48 ist im Querschnitt als Trapez mit geneigten Seitenflächen 51, 52 geformt, wie dies bereits in den Figuren 1 und 3 dargestellt ist; der Koppelkörper ist hier also in den Grundkörper 43 integriert. Der Winkel, der von den Seitenflächen 51, 52 mit der Unterseite des Grundkörpers 43 gebildet wird, hängt von der kristallographischen Ausrichtung des Siliziummaterials ab. Bei einer 100-Ausrichtung wird bei anisotropem Ätzen ein Winkel von ca. 55° eingestellt. Wird Prägen bei der Herstellung bevorzugt, kann prinzipiell jeder beliebige Winkel gewählt werden.

Eine besonders kompakte Sendebaugruppe soll anhand der Figur 6 erläutert werden. Das Laserdiodenarray 61 als lichtaus-

dendes Element mit einer Reihe von zeilenweise angeordneten Laserdioden 66a bis 66b (VCSEL-Dioden) ist unmittelbar auf der Unterseite des Grundkörpers 64 der Kopplungseinheit 60 befestigt. Die Kontaktierung des Arrays 61 erfolgt unter Ausnutzung von Bumps 65. Gleiches gilt für die Monitordiode 62. Auch hier ist der Koppelkörper in den Grundkörper 64 integriert, indem an der Unterseite des Grundkörpers 64 ist wie bereits in Figur 5 dargestellt eine trapezförmige Vertiefung 68 vorgesehen ist. Monitordiode 62 und Laserdiodenarray 61 sind so angeordnet, daß genau eine Laserdiode 66a über den Rand der Vertiefung 68 ragt und einer geneigten Seitenwand 70 gegenübersteht. Auf der anderen Seite der Vertiefung 68 ist die lichtempfindliche Fläche 63 der Monitordiode 62 einer anderen Seitenwand 69 der Vertiefung 68 gegenüber angeordnet. Das emittierte Laserlicht 71a der Laserdiode 66a wird durch dreifache Reflexion auf die Monitordiode 62 gelenkt. Die Strahlung der Laserdiode 66b wird wie bereits in Figur 5 beschrieben durch eine zugeordnete Linse 67 fokussiert.

Eine Sendebaugruppe, die eine individuelle Regelung jeder einzelnen Laserdiode ermöglicht, ist in Figur 7 in einer Draufsicht gezeichnet. Einem zeilenartigen Laserdiodenarray 86 ist ein ebenfalls zeilenartiges Monitordiodenarray 87 zugeordnet, wobei die lichtempfindliche Oberfläche des Monitorarrays 87 und die aktive Oberfläche des Laserdiodenarrays 86 jeweils in Zeichenblattebene liegen und nach oben weisen. Beide Arrays 86, 87 sind auf einem Träger 81 befestigt. Seitlich neben beiden Arrays sind Distanzstücke 82, 83 auf dem Träger 81 angebracht, die die Kopplungsvorrichtung 80 tragen. Die gepunktete Linie deutet eine Vertiefung 85 eines in die Koppelvorrichtung integrierten Koppelkörpers an, die sich an der Unterseite der Kopplungsvorrichtung 80 befindet und parallel zu den Arrays 86, 87 ausgerichtet ist. Die Vertiefung 85 wird an zwei Seiten von zueinander geneigten und metallisierten Wänden 89, 93 begrenzt, wobei die Seitenwand 93

entlang des Laserdiodenarrays 86 ausgerichtet ist und sich oberhalb der Laserdioden (nicht dargestellt) befindet, die Seitenwand 89 jedoch entlang der Monitordioden (ebenfalls nicht dargestellt) ausgerichtet ist. Die Neigung der Seitenwände 89, 93 zueinander ist so gewählt, daß mindestens ein Teil der emittierten Strahlung jeder Laserdiode durch zwei- oder dreifache Reflexion an den Seitenwänden 89, 93 und der Unterseite der Vertiefung 85 auf die zugeordnete Monitordiode des Monitordiodenarrays 87 gelangt.

10

Senkrecht oberhalb jeder Laserdiode ist eine Linse 88 auf der Oberseite der Kopplungsvorrichtung 80 angebracht. Dabei ist die Anordnung der Linsen 88 und der Seitenwand 93 so gewählt, daß bei senkrechter Projektion der Linse 88 und der Seitenwand 93 auf die Oberfläche des Laserdiodenarrays 86 die untere Kante 91 der Seitenwand 93 über die Berandung jeder Linse 88 leicht übersteht. Die Größe dieses Überstandes bestimmt bei voller Ausleuchtung der Linse 88 durch die von einer Laserdiode emittierte Strahlung das Verhältnis des durch die Seitenwand 93 reflektierten Anteils der Laserstrahlung zum Strahlungsanteil, welcher durch die Linse 88 dringt.

20

Zur elektrischen Kontaktierung der Arrays 86, 87 sind geeignete Bahnen 92, 96 auf dem Träger 81 aufgebracht. Bevorzugt werden bondbare Goldbahnen auf einem Silizium- oder Glasträger verwendet. Nur schematisch sind die Bonddrähte 90, 94 angedeutet.

25

Zum besseren Verständnis des in Figur 7 dargestellten Sachverhalts wird auf die Figur 8 verwiesen, die einen Schnitt durch die Sendebaugruppe der Figur 7 entlang der Linie A-B darstellt. Die Bezugszeichen, soweit korrespondierend, sind mit denen der Figur 7 identisch. Auf dem Träger 81 sind zueinander beabstandet das Laserdiodenarray 86 und das Monitordiodenarray 87 fixiert. Die Arrays 86, 87 werden durch Bond-

30

35

- drähte 90, 94 elektrisch kontaktiert. Durch die in der gewählten Darstellung hintereinander in Flucht stehenden Distanzstücke 82, 83 ist die Kopplungsvorrichtung 80 den Arrays 86, 87 gegenüber angeordnet, wobei die Vertiefung 85 auf der Unterseite des Grundkörpers 84 den Arrays 86, 87 zugewandt ist. Die geneigte Seitenwand 93 reicht mit ihrer Unterkante 91 leicht in den Strahlenkegel 100 einer Laserdiode 106 hinein und schneidet so einen Teil 102 der emittierten Strahlung aus dem Kegel 100 heraus. Dieser Strahlungsanteil 102 wird an der Seitenwand 93, der Unterseite 110 der Vertiefung 85 und der Seitenwand 89 auf eine Monitordiode 108 reflektiert. Der überwiegende Teil der emittierten Strahlung 100 wird dagegen von der Linse 88 fokussiert.
- Diese Ausführungsform gestattet es in vorteilhafter Weise den kompakten Aufbau der Kopplungsvorrichtung 80 mit der individuellen Treiberstromregelung jeder Laserdiode zu verbinden. Thermisch und mechanisch stabile Verbindungstechniken beim Fixieren der Kopplungsvorrichtung 80 auf den Distanzstücken 82, 83 und dem Ausrichten der Kopplungsvorrichtung 80 bezüglich der Arrays 86, 87 gewährleisten eine hohe Lebensdauer der Sendebaugruppe.

## Patentansprüche

1. Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden Elementes (1) an ein lichtempfangendes Element (1) mit einem Koppelkörper (2), bei der
- vor einer Außenfläche (2a) des Koppelkörpers (2) das lichtaussendende und das lichtempfangende Element (1; 11) nebeneinander angeordnet sind,
  - der Koppelkörper (2) eine sich von der einen Außenfläche (2a) nach innen verjüngende, reflektierende Vertiefung (8) mit hinsichtlich eines Bodens (10) einander gegenüberliegenden Seitenwänden (7, 9) aufweist,
  - das lichtaussendende Element (1) mit seiner lichtemittierenden Oberfläche (3) der einen Außenfläche (2a) des Koppelkörpers (2) zugewandt angeordnet ist und vor der einen Seitenwand (7) liegt,
  - vor der anderen Seitenwand (9) der Vertiefung (8) des Koppelkörpers (2) das lichtempfangende Element (11) mit seiner Lichtempfangsseite (15) angeordnet ist, und
  - die Seitenwände (7, 9) eine derartige Neigung (2) aufweisen, daß das Licht des lichtaussendenden Elements (1) nach Reflexion an der einen Seitenwand (7), dem Boden (10) und der anderen Seitenwand (9) zum lichtempfangenden Element (11) gelangt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- bei einem Abstand  $a$  des lichtaussendenden von dem lichtempfangenden Element (1; 11) und einer Neigung  $\alpha$  der Seitenwände zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$  der Boden (10) der Vertiefung (8) eine Quererstreckung  $d$  aufweist, die sich gemäß der Formel  $d = a/2 \cdot \sin^2 \alpha$  ergibt.

3. Anordnung zum optischen Ankoppeln eines lichtaussendenden Elementes (21) an ein lichtempfangendes Element (29) mit einem Koppelkörper (25), bei der

- 5 - vor einer Außenfläche des Koppelkörpers (25) das lichtaussendende und das lichtempfangende Element (21; 29) nebeneinander angeordnet sind,
- der Koppelkörper (25) eine sich von der einen Außenfläche nach innen verjüngende, spiegelnde Vertiefung mit einander gegenüberliegenden Seitenwänden (26, 27) aufweist,
- 10 - das lichtaussendende Element (21) mit seiner lichtemittierenden Oberfläche der einen Außenfläche des Koppelkörpers (25) zugewandt angeordnet ist und vor der einen Seitenwand (26) liegt,
- vor der anderen Seitenwand (27) der Vertiefung (28) des Koppelkörpers (25) das lichtempfangende Element (21) mit seiner Lichtempfangsseite angeordnet ist, und
- 15 - die Seitenwände (26, 27) im Grunde der Vertiefung (28) aneinander stoßen und eine derartige hohle Kontur aufweisen, daß das Licht des lichtaussendenden Elements (21) nach Reflexion an der einen Seitenwand (26) und der anderen Seitenwand (27) zum lichtempfangenden Element (29) gelangt.
- 20

4. Anordnung nach Anspruch 3,

- 25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
- bei einem Abstand  $b$  des lichtaussendenden von dem lichtempfangenden Element (21; 29) die Kontur jeder Seitenwand (26, 27) gemäß der Beziehung  $z = e^{\frac{|b|}{2}-1}$  gestaltet ist, in der mit  $z$  eine vom Grunde der Vertiefung (28) zu der einen Außenfläche zählende Höhenvariable bezeichnet ist.
- 30

5. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß



- die lichtemittierende Oberfläche (3) des lichtaussendenden Elementes (1) von mehreren in einer Reihe oder in einer Fläche angeordneten Sendebereichen (4, 5, 6) und die  
5 Lichtempfangsseite (15) des lichtempfangenden Elementes (11) von in einer Reihe oder in einer Fläche angeordneten Empfangsbereichen (12, 13, 14) gebildet ist.

6. Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
- der Koppelkörper (2) aus kristallinem Material oder aus Glas besteht.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
15 - der Koppelkörper (2) aus Kunststoff oder Metall gebildet ist.

8. Anwendung der Anordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche bei einer optoelektronischen Sendebaugruppe mit  
20 mindestens einem lichtaussendenden Element (41), mindestens einem Monitorelement (42) und einer Kopplungsvorrichtung (40), welche mindestens ein optisches Koppellement (53b bis 53nl) und mindestens ein reflektierendes Element (48) aufweist, wobei eine strahlungsempfindliche Oberfläche des  
25 Monitorelements (42) und eine aktive Oberfläche (46a bis 46nl) des Sendeelements (41) der Kopplungsvorrichtung (40) zugewandt sind,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß  
die Anordnung der Kopplungsvorrichtung (40), des  
30 lichtaussendenden Element (41) und des von dem lichtempfangenden Element gebildeten Monitorelements (42) zueinander so gestaltet ist, daß gegenüber einem auf einer einzigen Bauteilseite des lichtaussendenden Elements (41) befindlichen Abschnitt (46a) der aktiven Oberfläche (46a bis

46b) sowohl die spiegelnde Vertiefung (48) als auch das Koppelement (53b) angeordnet sind.

- 5 9. Anwendung der Optoelektronischen Sendebaugruppe nach Anspruch 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß  
die Kopplungsvorrichtung (40) aus einem im charakteristischen  
Emissionswellenlängenbereich des lichtaussenden Elements (41)  
transparenten Material besteht, daß wenigstens ein Teil der  
10 vom Abschnitt (46a) emittierten Strahlung durch Reflexion in  
der Vertiefung (48) auf das Monitorelement (42) gelenkt wird,  
und ein weiterer Teil der Strahlung durch die  
Kopplungsvorrichtung (40) dringt.
- 15 10. Anwendung der optoelektronischen Sendebaugruppe nach  
Anspruch 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß  
wenigstens ein Teil der vom Abschnitt emittierten Strahlung  
durch Reflexion in der Vertiefung auf das Monitorelement  
20 gelenkt wird, und ein weiterer Teil der Strahlung am  
Koppelement reflektiert wird.

1/4

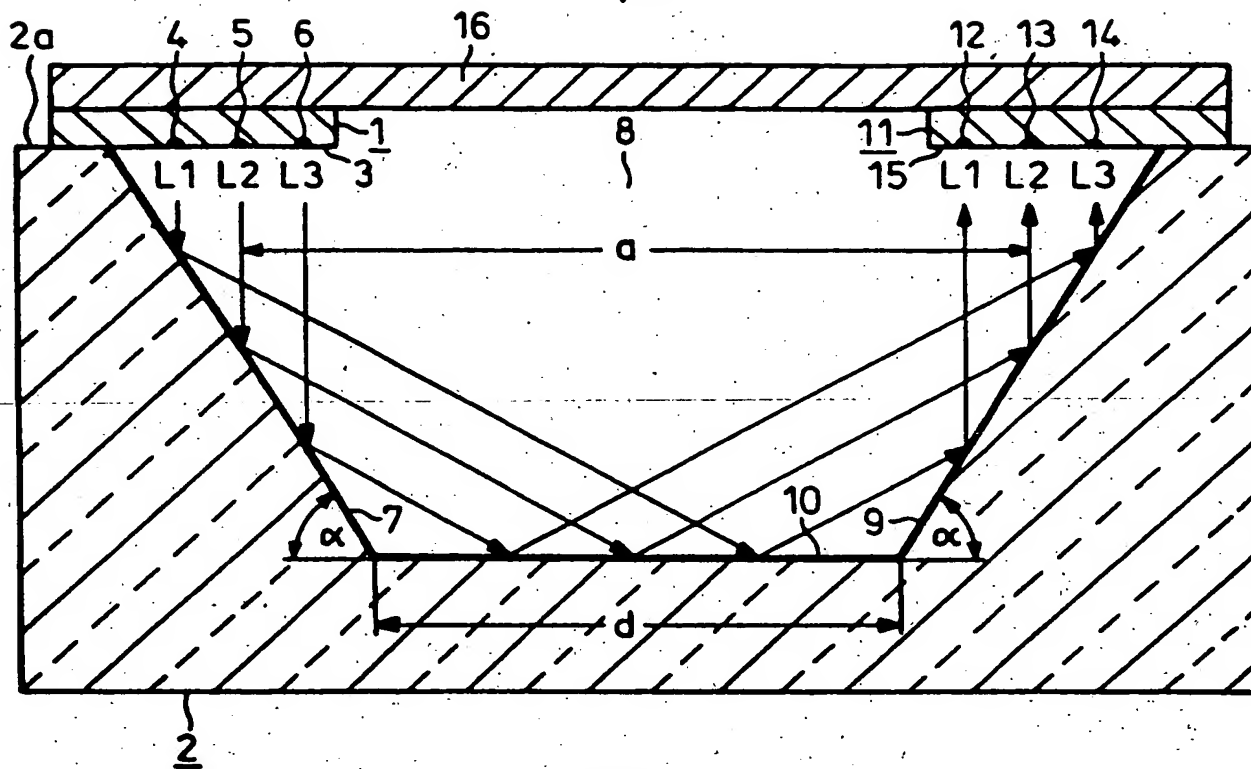


FIG 1

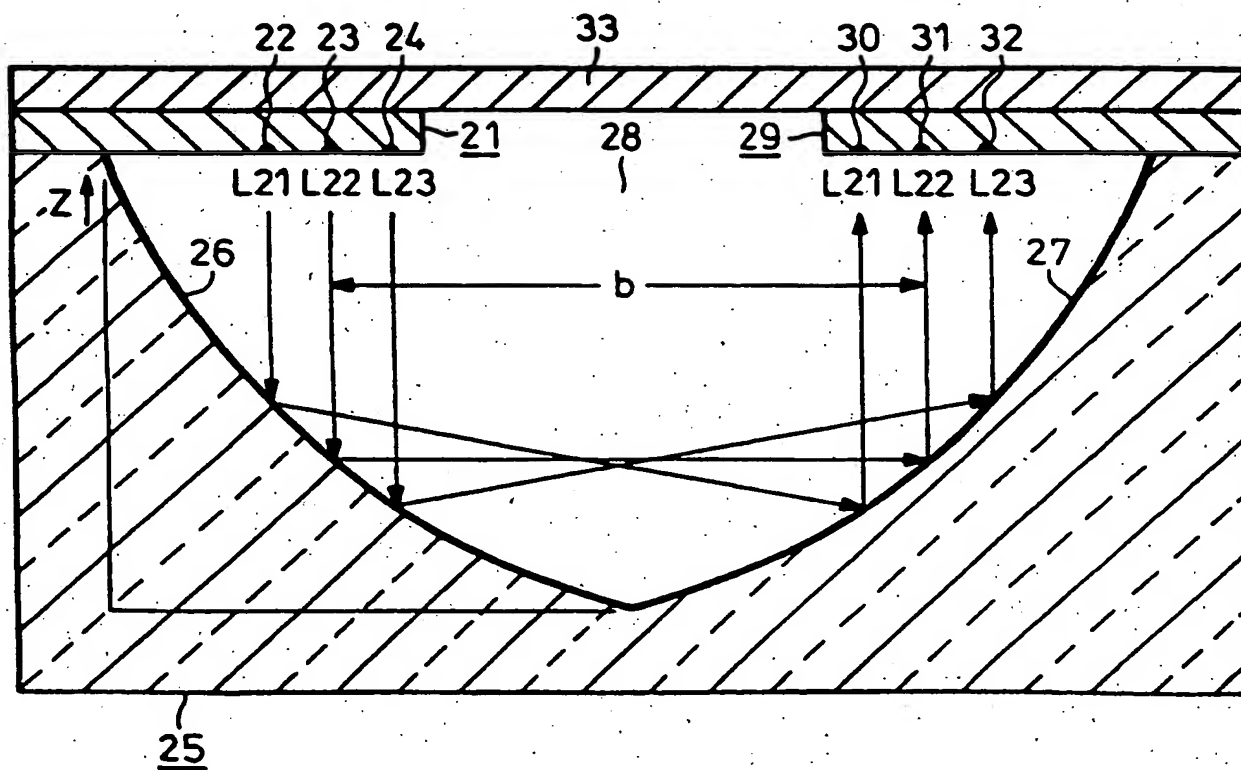


FIG 2

2/4

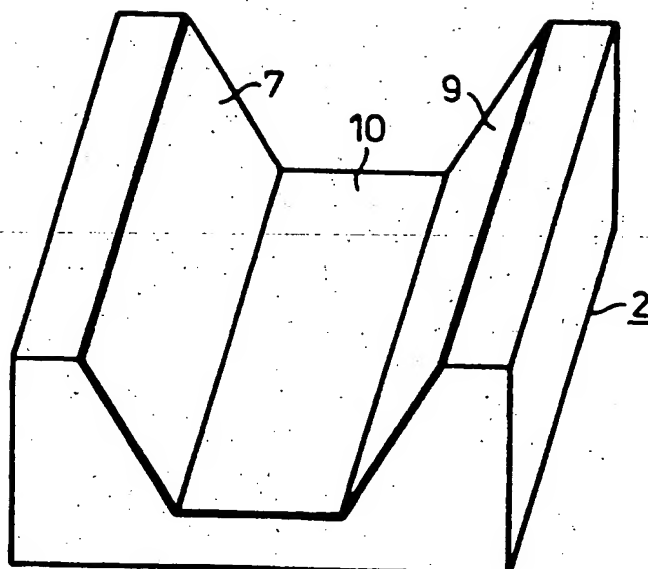


FIG 3

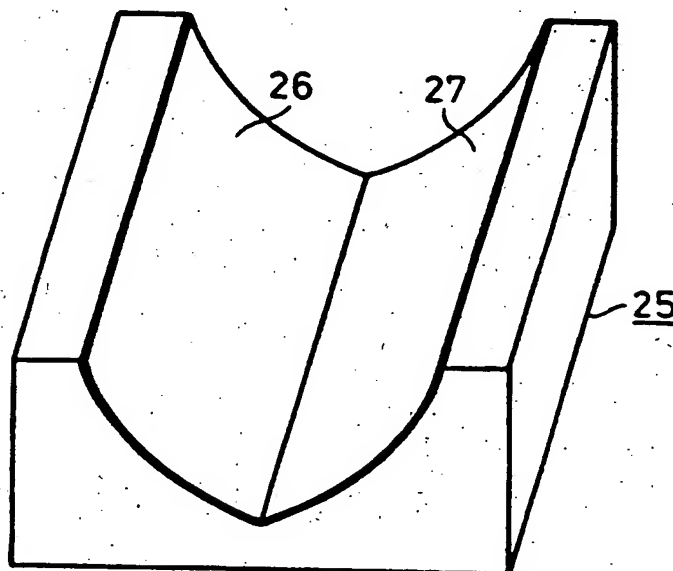


FIG 4

3/4

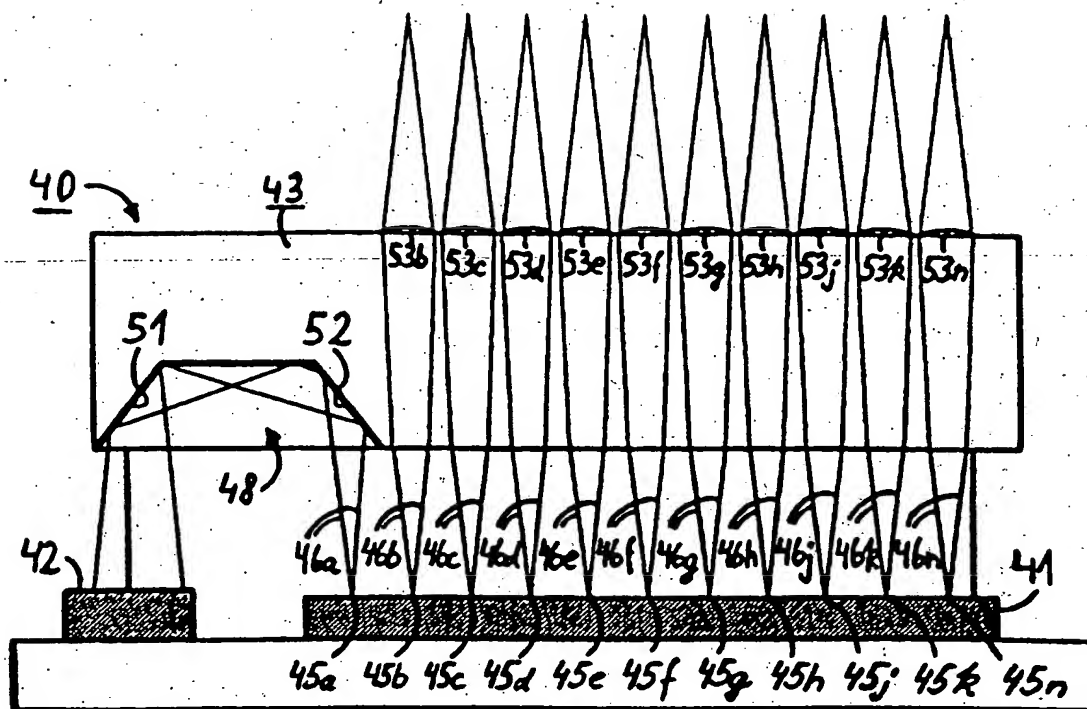


FIG 5

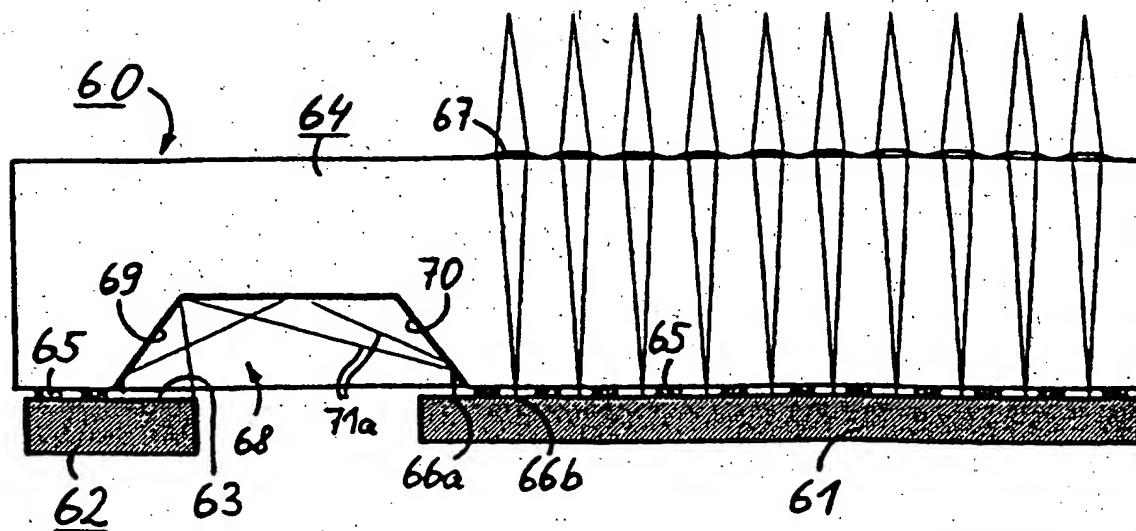


FIG 6

4/4

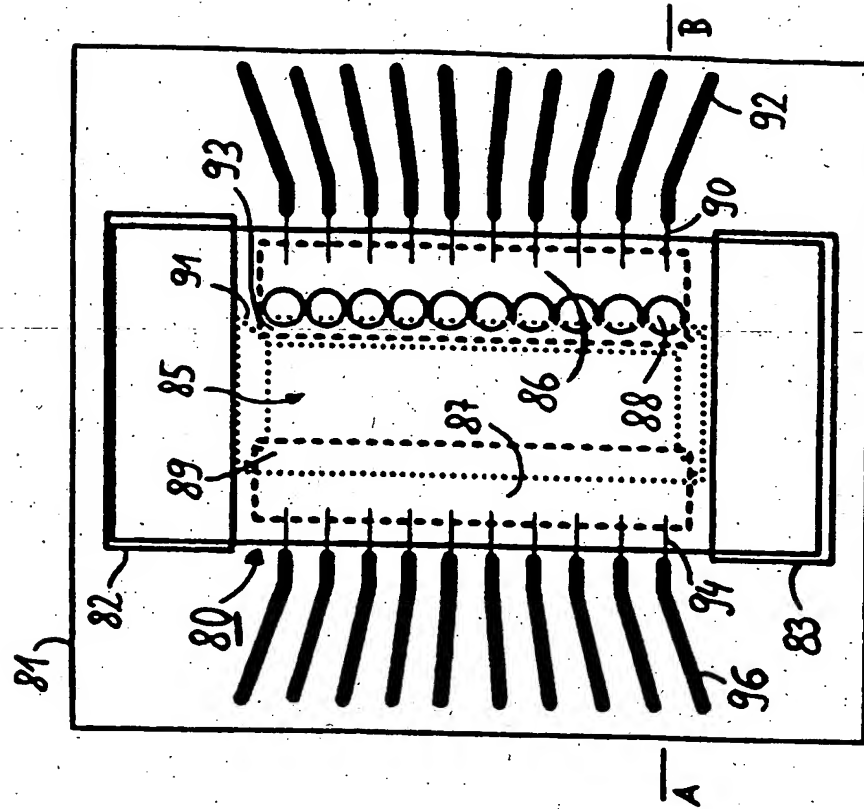


FIG 7

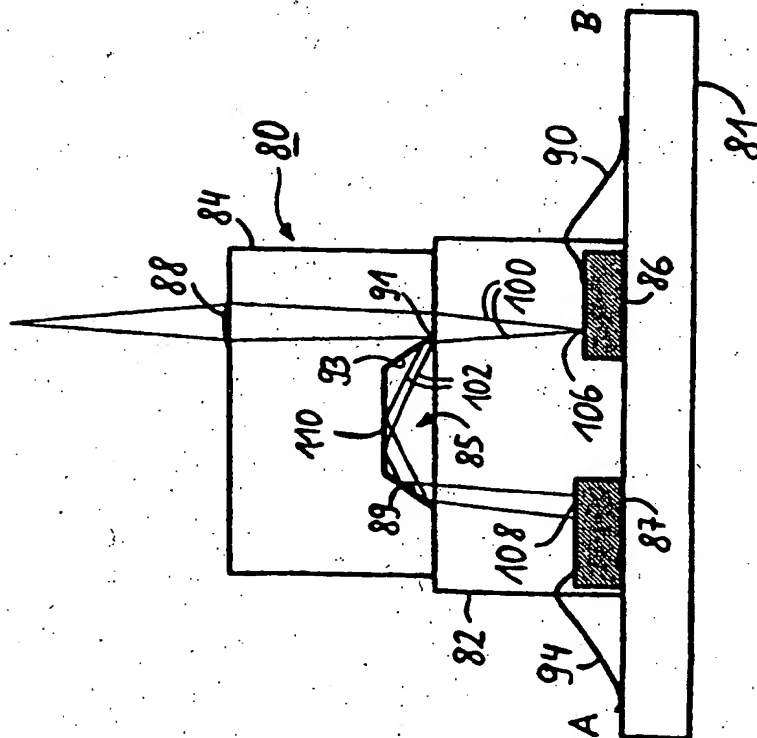


FIG 8